

理科における問題解決能力を構成する諸要素の因果モデル －初等教育教員養成課程学生を対象として－

山 田 貴 之*・栗 原 淳 一**

(令和元年10月9日受付；令和2年4月6日受理)

要 旨

本研究では、初等教育教員養成課程の大学3年生および免P生を対象とした調査問題の結果に基づいて、理科における問題解決能力を構成する諸要素の因果モデルについて検討した。その結果、「①変数設定力」と「②仮説設定力」は共変動の関係にあり、本因果モデルの初発の段階に位置していることが明らかとなった。さらに、「②仮説設定力」が「③実験方法立案力」に、「③実験方法立案力」が「④結果処理力」にそれぞれ直接的影響を及ぼしていることが示された。これらの結果から、理科における問題解決能力を育成するためには、学生自らに仮説を設定させたり、それを検証するための実験計画や方法を立案させたりする指導を行うことの重要性が示唆された。

KEY WORDS

Problem-Solving Ability 問題解決能力, Factors 諸要因, Causal Model 因果モデル

1 はじめに

平成24年度学習指導要領実施状況調査教科別分析と改善点（小学校理科）では、問題解決能力の育成に関する指導上の改善点として、実験を計画する際には、自分の予想や仮説を検証することや、比較対照実験の必要性に気付かせていくことが重要であると記されている（国立教育政策研究所，2012a）⁽¹⁾。また、平成24年度全国学力・学習状況調査【小学校】報告書では、電磁石の強さを変える要因について確かめる実験を、条件を制御しながら構想することに課題があることが報告されている（国立教育政策研究所，2012b）⁽²⁾。さらに、平成27年度全国学力・学習状況調査報告書【小学校】理科においても、予想が一致した場合に得られる結果を見通して実験を構想することに課題があるとしている（国立教育政策研究所，2015a）⁽³⁾。これらの調査から、予想や仮説を立て、条件を制御した実験を計画する力に課題があることが明らかとなった。

こうした児童の実態に影響を与えている要因の1つとして、入江（2007）⁽⁴⁾は、小学校教員自身の問題解決や仮説を設定して観察・実験を行う能力の不足を挙げている。さらに、入江・尾竹・小林（2008）⁽⁵⁾は、仮説（予想）に基づいて観察・実験の計画を立てる方だと考えている新規採用教員は、約50%と半数であることを明らかにし、理科の本質とも言える自然事象の中から問題を自ら見つけ、検証可能な仮説に基づいて観察・実験を行う資質・能力を教員養成段階で十分に育成できていないと述べている。問題解決能力の中でも、特に仮説を設定する力や仮説を確かめるための観察・実験の計画を立案する力に着目し、初等教育教員養成課程学生の実態を調査した研究は、これまでもいくつか報告されている。例えば、小林・永益（2006）⁽⁶⁾は、小学校教員志望学生に小・中学生および高校生の頃を振り返らせ、観察・実験における探究の過程の経験について調査を行った結果、仮説や根拠のある予想を立てたことがある学生は43.8%、仮説を検証するための観察・実験計画を立てたことがある学生は30.8%であるという結果を得ている。川崎・角屋・木下・石井・後藤（2015）⁽⁷⁾は、小学校第5、6学年児童と初等教育教員養成課程学生の問題解決能力（「仮説設定力」、「実験方法立案力」、「結果の予想設定力」）について、第1分野の「電磁石に関する問題」および第2分野の「植物に関する問題」を対象に比較調査したところ、どちらの内容においても前者の方が後者よりも問題解決能力が高いことを明らかにしている。佐藤・栗原（2017）⁽⁸⁾は、小学校教員免許の取得を希望する学生を対象に、生物領域においてデータセットを用いた仮説検証型の学習を行うことで、問題解決能力（「変数設定能力」、「結果の予想設定力」）が向上することを報告している。これらの研究から、初等教育教員養成課程学生の問題解決能力が低いこと、問題解決能力を構成する要素として「変数設定能力」、「仮説設定力」、「実験方法立案力」、「結果の予想設定力」などが挙げられることが示された（表1）。

しかしながら、前出の先行研究では、問題解決能力の個々の要素における学生の実態については明らかにされてい

*自然・生活教育学系 **群馬大学

るものの、各要素が相互にどのような影響を及ぼし合っているかまで検討がなされているわけではない。小学校学習指導要領（平成29年告示）解説理科編（文部科学省，2018）⁹⁾の目標には、学年を通して育成を目指す問題解決の力が明記されており、例えば、第5学年では、主に予想や仮説を基に解決の方法を発想する力の育成が重視されている。これは、「仮説設定力」が「実験方法立案力」に影響を及ぼすことを示唆するものであると考えられる。したがって、各要素の関連を整理し、これらの相互関連の構造を明確にすることで、問題解決能力の育成に向けた指導根拠を提供できると期待される。

そこで本研究では、後述する本研究における問題解決能力の規定に基づき、「変数設定力」と「仮説設定力」が共変動し、「仮説設定力」が「実験方法立案力」と「結果処理力」に、「実験方法立案力」が「結果処理力」にそれぞれ直接的影響を及ぼすといった因果モデルを仮定し（図1）、その妥当性について検討するとともに、指導方法の考案に向けた示唆を得ることを目的とした。

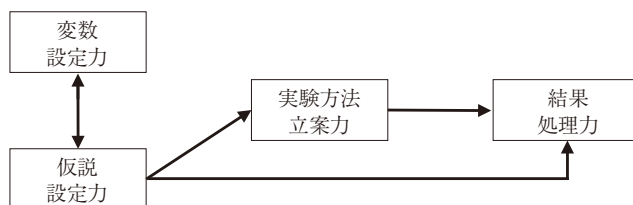


図1 本研究で検討する仮説モデル

2 研究の目的

本研究では、初等教育教員養成課程学生を対象に、理科における問題解決能力を構成する諸要素の因果モデルを明らかにするとともに、指導方法の考案に向けた示唆を得ることを目的とした。

3 研究の方法

3.1 調査の対象および時期

新潟県内の国立大学法人A大学において、初等教育教員養成課程に在籍する大学3年生160名および教育職員免許取得プログラム受講の大学院生（以下、免P生と表記）75名を対象に、2018年6月上旬に調査問題を実施した^{注1)}。配当時間は20分間であった。

3.2 本研究における問題解決能力の規定

本研究では、川崎ら（2015）¹⁰⁾および佐藤・栗原（2017）¹¹⁾を参考に、問題解決能力の中でも、探究の過程における「予想から実験計画立案場面までで育成すべき能力」を問題解決能力と規定した。併せて、川崎ら（2015）¹²⁾および佐藤・栗原（2017）¹³⁾において妥当性が検討されている要素を参考に（表1）、本研究における問題解決能力の構成要素を以下の4つに整理することとした。

1つは、佐藤・栗原（2017）¹⁴⁾の「①変数設定力」を要素とした。これは自然の事物・現象の中から独立変数と従属変数を抽出し、2変数の因果関係を認識する力である。検証可能な仮説を設定するためには、「①変数設定力」は不可欠な要素であり、問題解決活動の初発の段階に位置付くと考えた。2つは、川崎ら（2015）¹⁵⁾の「②仮説設定力」を要素とした。これは変化する自然の事物・現象を原因（独立変数）と結果（従属変数）の関係で捉え、「◇◇を～すると、○○は…になるだろう」といった作業仮説を設定する力である。見通しをもって問題解決を進めていくためには、「①変数設定力」と関連付けながら検証可能な仮説を設定する必要があることから、「②仮説設定力」を要素とした。3つは、川崎ら（2015）¹⁶⁾および佐藤・栗原（2017）¹⁷⁾の「③実験方法立案力」を要素とした。これは仮説を検証するためには、結果として変化すること（従属変数）をどのような実験器具や機器を用いてどのように調べればよいのか、既習事項を基に構想する力である。この際、変える条件と変えない条件を明らかにして実験を行った後、実験結果の客観性を保証したりする必要があることから、条件制御と客観性の保証を含めた「③実験方法立案力」は不可欠な要素であると考えた。4つは、「④結果処理力」である。これは川崎ら（2015）¹⁸⁾および佐藤・栗原（2017）¹⁹⁾における「結果の予想設定力」に相当する要素である。先行研究では、仮説と整合した結果を具体的に予想する力を評価したのに対し、本研究では、実験結果を仮説と照合して整理したり、客観性を考慮した適切な表を作成したりする力を評価したため、「④結果処理力」を要素とした。

表1 先行研究で用いられた問題解決能力の要素

川崎ら（2015）の研究	佐藤・栗原（2017）の研究
・仮説設定力	・変数設定能力
・実験方法立案力	・実験方法立案力
・結果の予想設定力	・結果の予想設定力

3. 3 調査問題の作成

表2に示したように、「①変数設定力」、「②仮説設定力」、「③実験方法立案力」、「④結果処理力」といった問題解決能力を評価するための調査問題を5つ作成した。

設問1では、斎藤(2016)⁽²⁰⁾を参考に「紙飛行機を遠くまで飛ばす実験を体育館で行うことにしました。少しでも紙飛行機を遠くに飛ばすためには、どうしたらよいでしょうか。紙飛行機を遠くに飛ばすための仮説を『◇◇を～すると、紙飛行機は遠くに飛ぶだろう』という文章で、思いつくことをできるだけたくさん書いて下さい。」という問題を出題した。これは「独立変数設定力」を評価する設問である。「従属変数設定力」を評価する設問2では、斎藤(2016)⁽²¹⁾を参考に「雨が降ることで、私たちの生活に、どのようなことが起こるでしょうか。『雨が降ると、〇〇が(は)…になるだろう』という文章で、思いつくことをできるだけたくさん書いて下さい。」という問題を出題した。これら2問で、「①変数設定力」について評価することとした。設問3では、平成27年度全国学力・学習状況調査問

表2 作成した調査問題

<設問1>

紙飛行機を遠くまで飛ばす実験を体育館で行うことにしました。少しでも紙飛行機を遠くに飛ばすためには、どうしたらよいでしょうか。紙飛行機を遠くに飛ばすための仮説を「◇◇を～すると、紙飛行機は遠くに飛ぶだろう」という文章で、思いつくことをできるだけたくさん書いて下さい。

<設問2>

雨が降ることで、私たちの生活に、どのようなことが起こるでしょうか。「雨が降ると、〇〇が(は)…になるだろう」という文章で思いつくことをできるだけたくさん書いて下さい。

<設問3>

水槽AとBにメダカが1匹ずつ入っています。水槽Aのメダカは激しく「えらぶた」を動かしているのに対し、水槽Bのメダカはゆっくりと「えらぶた」を動かしていることに気が付きました。また、メダカが口を開けている時は「えらぶた」が閉じていて、口を閉じている時は「えらぶた」が開いていることから、「えらぶた」が動く回数は呼吸数に等しいと考えました。そこで、「メダカの呼吸数は、何によって決まるのだろうか」という課題を立てて、実験によって解決することにしました。

- (1) メダカの呼吸数を調べるための仮説を「◇◇を～すると、メダカの呼吸数は…になるだろう」という文章で、思いつくことを最大3つまで書いて下さい。
- (2) (1)で考えた仮説の中から1つ選び、その仮説を確かめるための実験方法をできるだけ詳しく書いて下さい。絵や図を用いて表しても構いません。
- (3) (2)の実験で得られた結果を分かりやすく整理するために、どのような表が必要でしょうか。適切な表を書いて下さい。

<設問4>

容器にゼリーとキウイフルーツを入れてデザートを作りました。冷蔵庫にしばらく入れたところ、ゼリーの形が崩れて液状になっていました。そこで、ゼリーの主な原材料を調べてみると、ゼラチンや寒天などがあり、ゼラチンはタンパク質、寒天は炭水化物であることが分かりました。このことに疑問をもち、「キウイフルーツには、ゼラチンや寒天を分解する働きがあるのだろうか」という課題を立てて、【実験(1)～(3)】を行い、以下の【結果】と【考察】を導き出しました。しかし、この実験には不十分な点があることに気が付き、再実験を行うことにしました。どこをどのように修正すれば適切な実験になるでしょうか。自分の考えを書いて下さい。

【実験】

- (1) 容器Aにゼラチンのゼリーを、容器Bに寒天のゼリーを入れる。
- (2) それぞれの容器に、キウイフルーツのしぼり汁を入れる。
- (3) しばらく時間をおき、容器Aのゼラチンと容器Bの寒天に変化があるかどうかを観察する。

【結果】

- ・容器Aのゼラチンは液状に変化した。
- ・容器Bの寒天は変化がなかった。

【考察】

- ・キウイフルーツはゼラチンを分解するが、寒天は分解しない。

<設問5> (問題文中の図と表は省略)

チューリップの切り花を花瓶に生けて、窓ぎわに飾ったところ、図のように、花は13時には開いていて、21時には閉じていました。このことを疑問に思い、表のように整理してみました。13時と21時の違いは、日光と室温であったので、2つの仮説を立てて調べることにしました。

【仮説ア】 光が当たると、チューリップの花は開くだろう。

【仮説イ】 温度が高いと、チューリップの花は開くだろう。

- (1) 仮説アかイのどちらか1つを選び、その仮説を確かめるための実験方法をできるだけ詳しく書いて下さい。絵や図を用いて表しても構いません。
- (2) (1)の実験で得られた結果を分かりやすく整理するために、どのような表が必要でしょうか。適切な表を書いて下さい。

題（中学校理科）（国立教育政策研究所，2015b）⁽²²⁾を参考に「魚のえらぶたの開閉回数に影響を及ぼす諸条件について科学的に探究する」問題を出題した。具体的には、「メダカの呼吸数は、何によって決まるのだろうか」という課題文を提示し、メダカの呼吸数を調べるための仮説設定に関する問い（「②仮説設定力」）、自らの仮説を検証するための実験方法立案に関する問い（「③実験方法立案力」）および実験結果の処理に関する問い（「④結果処理力」）を設け、それぞれの力を評価することとした。設問4では、平成27年度全国学力・学習状況調査問題（中学校理科）（国立教育政策研究所，2015b）⁽²³⁾を参考に「キウイフルーツが物質を分解する働きについて科学的に探究する」問題を出題した。具体的には、「キウイフルーツには、ゼラチンや寒天を分解する働きがあるのだろうか」という課題文と、対照実験を行わずに結論を導き出すという文脈を提示した。そして、不備が認められる部分を指摘するとともに、再追究に向けての適切な実験方法立案に関する問いを設け、「③実験方法立案力」について評価することとした。設問5では、平成24年度全国学力・学習状況調査問題（中学校理科）（国立教育政策研究所，2012c）⁽²⁴⁾を参考に「チューリップの花の開閉（従属変数）と、光・温度（独立変数）との関係を科学的に探究する」問題を出題した。具体的には、「仮説ア：光が当たると、チューリップの花は開くだろう」、「仮説イ：温度が高いと、チューリップの花は開くだろう」という2つの仮説の中から1つを選択し、その仮説を検証するための実験方法立案に関する問い（「③実験方法立案力」）および実験結果の処理に関する問い（「④結果処理力」）を設け、それぞれの力を評価することとした。

3. 4 評価の方法

3. 4. 1 評価基準の設定

表3に示した評価基準に従って調査問題の採点・集計を行った。「①変数設定力」については、「独立変数設定力」（設問1）と「従属変数設定力」（設問2）で構成されている。前者では、「◇◇を～すると、紙飛行機は遠くに飛ぶだろう」というように、「何を」、「どうすると」の2観点が正しく記述されている回答に1点を与えて得点化した。後者では、「雨が降ると、〇〇が（は）…になるだろう」というように、「何が（は）」、「どうなる」の2観点が正しく記述されている回答に1点を与えて得点化した。いずれの設問についても、検証可能であると判断できるものを正答とするとともに、記述数に応じて得点化し、これらの合計を「①変数設定力」の得点とした。「②仮説設定力」については、独立変数（変化させる要因）と従属変数（変化させる要因に伴って変わる事象）を意識し、「◇◇を～すると、メダカの呼吸数は…になるだろう」というように、「何を」、「どうすると」、「何が（は）」、「どうなる」の4観点が正しく記述されている回答に1点を与えて得点化し、最大3つまでの記述を認めた。したがって、「②仮説設定力」は3点満点で評価した。なお、従属変数に当たる「何が（は）」については、調査問題の中に「メダカの呼吸数は」と明記されている。「③実験方法立案力」については、川崎ら（2015）⁽²⁵⁾は「仮説を検証する方法であるか」、「具体的な実験操作等まで言及しているか」、「条件を制御しているか」、「客観性を保証しているか」という4観点で評価している。そこで、設問3（2）と5（1）においては、川崎ら（2015）⁽²⁶⁾に従って、4観点が正しく記述されている回答に1点ずつを与えて得点化した。一方、実験方法の不備を指摘できるか否かを評価する設問4では、「不備な箇所を指摘しているか」、「再追究に向けての適切な実験方法を立案しているか」という2観点が正しく記述されている回答に1点ずつを与えて得点化した。したがって、「③実験方法立案力」は10点満点で評価した。「④結果処理力」については、本研究の調査問題（設問3（3）と5（2））では、「実験で得られた結果を分かりやすく整理するために、どのような表が必要でしょうか。適切な表を書いて下さい。」といった指示文が記述されているため、「実験結果を仮説と照合して整理しているか」、「客観性を考慮した適切な表を作成しているか」を評価の観点とし、これら2観点が正しく記述されている回答に1点ずつを与えて得点化した。

3. 4. 2 各設問の正答例

表4に示したように、設問1の「独立変数設定力」では、「◇◇を～すると、紙飛行機は遠くに飛ぶだろう」というように、「何を」、「どうすると」の2観点が正しく記述されている回答に1点を与えて得点化した。具体的には、「紙を二重に重ねて折る」、「紙の大きさを変える」などの記述を正答とした。設問2の「従属変数設定力」では、「雨が降ると、〇〇が（は）…になるだろう」というように、「何が（は）」、「どうなる」の2観点が正しく記述されている回答に1点を与えて得点化した。具体的には、「服（地面、建物）がぬれる」、「草花などの植物が育つ」などの記述を正答とした。なお、これらの正答例の妥当性は、斎藤（2016）⁽²⁷⁾において検討されているため、本研究の調査問題の妥当性を担保することができると判断した。設問3では、（1）の仮説設定に関する問いにおいて、「ア：水槽の中に水草を入れて酸素濃度を高くすると、メダカの呼吸数は少なくなるだろう」、「イ：水槽の水温を低くすると、

メダカの呼吸数は多くなるだろう」、「ウ：えさを多く与えると、メダカの呼吸数は多くなるだろう」、「エ：水槽中の水の流れを強くすると、メダカの呼吸数は多くなるだろう」などの記述を正答とした。(2)の自らの仮説を検証するための実験方法立案に関する問いにおいて、まず「a：水槽A、Bを準備し、水槽Aには水草を入れる」などの記述を「仮説を検証する方法であるか」における正答、「b：各水槽にメダカを一匹ずつ入れ、一定時間のえらぶたの動く回数を調べる」などの記述を「具体的な実験操作等まで言及しているか」における正答とした。次に「c：水の量や温度、水槽の設置場所などの条件を統一する」などの記述を「条件を制御しているか」における正答とした。最後に「d：複数回調べ、各メダカのえらぶたの動く回数の平均値を算出する」、「e：メダカの個体差を考慮し、異なるメダカを用いて同様の実験を複数回行う」などの記述を「客観性を保証しているか」における正答とした。なお、本研究における「客観性」とは、川崎ら（2015）⁽²⁸⁾を参考に、「観察物の個体差を考慮し、複数用意すること」および「同様の実験を複数回行うこと」とした。(3)の実験結果の処理に関する問いにおいて、まず「a：行に水槽A、Bを、列に観察記録を記入できる表の作成」が認められれば、「実験結果を仮説と照合して整理しているか」における正答とした。次に「b：メダカを複数用意し、観察記録を複数回記入できる表の作成」が認められれば、「客観性を考慮した適切な表を作成しているか」における正答とした。設問4では、まず「a：（対照実験を行っていないため）ゼラチンのゼリーが液状になったのは、キウイフルーツによるものなのか、時間経過によるものなのか判断できない」などの記述を「不備な箇所を指摘しているか」における正答とした。次に「b：ゼラチンと寒天のゼリーをもう1つずつ準備し、それぞれ水を加えた容器C、Dを用いて対照実験を行う」などの記述を「再追究に向けての適切な実験方法を立案しているか」における正答とした。設問5では、(1)の仮説を検証するための実験方法立案に関する問いにおいて、まず「a：チューリップを花瓶A、Bに生けて、光の量が違う場所で比べる」などの記述を「仮説を検証する方法であるか」における正答、「b：チューリップを花瓶A、Bに生けて、花瓶Aには光を当て、花瓶Bには段ボールなどを被せて光を当てないようにする」などの記述を「具体的な実験操作等まで言及しているか」における正答とした。次に「b：室温20℃、花瓶の水量、チューリップの大きさや種類、本数などの条件を統一し、しばらく時間をおいた後に観察する」などの記述を「条件を制御しているか」における正答とした。最後に「c：チューリップの個体差を考慮し、異なるチューリップを用いて同様の実験を複数回行う」などの記述を「客観性を保証しているか」における正答とした。(2)の実験結果の処理に関する問いにおいて、まず「a：行に花瓶A、Bを、列に観察結果を記入できる表の作成」が認められれば、「実験結果を仮説と照合して整理しているか」における正答とした。次に「b：チューリップを複数用意し、観察記録を複数回記入できる表の作成」が認められれば、「客観性を考慮した適切な表を作成しているか」における正答とした。

表3 各設問で評価する要素とその評価基準

設問	○評価する要素（満点） ・ 評価基準
1	○「①変数設定力」（記述数に応じて得点化） ・ 「何を」、「どうすると」の2観点が正しく記述されている回答に1点
2	○「①変数設定力」（記述数に応じて得点化） ・ 「何が（は）」、「どうなる」の2観点が正しく記述されている回答に1点
3 (1)	○「②仮説設定力」（3点） ・ 「何を」、「どうすると」、「何が（は）」、「どうなる」の4観点が正しく記述されている回答に1点（最大3つまで）
3 (2)	○「③実験方法立案力」（4点） ・ 「仮説を検証する方法であるか」、「具体的な実験操作等まで言及しているか」、「条件を制御しているか」、「客観性を保証しているか」の4観点が正しく記述されている回答に1点ずつ
3 (3)	○「④結果処理力」（2点） ・ 「実験結果を仮説と照合して整理しているか」、「客観性を考慮した適切な表を作成しているか」の2観点が正しく記述されている回答に1点ずつ
4	○「③実験方法立案力」（2点） ・ 「不備な箇所を指摘しているか」、「再追究に向けての適切な実験方法を立案しているか」の2観点が正しく記述されている回答に1点ずつ
5 (1)	○「③実験方法立案力」（4点） ・ 「仮説を検証する方法であるか」、「具体的な実験操作等まで言及しているか」、「条件を制御しているか」、「客観性を保証しているか」の4観点が正しく記述されている回答に1点ずつ
5 (2)	○「④結果処理力」（2点） ・ 「実験結果を仮説と照合して整理しているか」、「客観性を考慮した適切な表を作成しているか」の2観点が正しく記述されている回答に1点ずつ

表 4 各設問の正答例

設問	正 答 例
1	・紙を二重に重ねて折る（分厚い紙で折る）、紙の大きさを変える（大きくする、小さくする）
2	・服（地面、建物）がぬれる、草花などの植物が育つ
3 (1)	ア：水槽の中に水草を入れて、酸素濃度を高くすると、メダカの呼吸数は少なくなるだろう イ：水槽の水温を低くすると、メダカの呼吸数は多くなるだろう ウ：えさを多く与えると、メダカの呼吸数は多くなるだろう エ：水槽中の水の流れを強くすると、メダカの呼吸数は多くなるだろう
3 (2)	【3 (1) アの仮説を確かめる実験方法】 a：水槽A、Bを準備し、水槽Aには水草を入れる b：各水槽にメダカを一匹ずつ入れ、一定時間のえらぶたの動く回数を調べる c：水の量や温度、水槽の設置場所などの条件を統一する d：複数回調べ、各メダカのえらぶたの動く回数の平均値を算出する e：メダカの個体差を考慮し、異なるメダカを用いて同様の実験を複数回行う
3 (3)	【3 (2) の実験から得られる結果を整理する表】 a：行に水槽A、Bを、列に観察記録を記入できる表の作成 b：メダカを複数用意し、観察記録を複数回記入できる表の作成
4	a：（対照実験を行っていないため）ゼラチンのゼリーが液状になったのは、キウイフルーツによるものなのか、時間経過によるものなのか判断できない b：ゼラチンと寒天のゼリーをもう1つずつ準備し、それぞれ水を加えた容器C、Dを用いて対照実験を行う
5 (1)	【仮説アを確かめる実験方法】 a：チューリップを花瓶A、Bに生けて、光の量が違う場所で比べる b：チューリップを花瓶A、Bに生けて、花瓶Aには光を当て、花瓶Bには段ボールなどを被せて光を当てないようにする c：室温20℃、花瓶の水量、チューリップの大きさと種類、本数などの条件を統一し、しばらく時間をおいた後に観察する d：チューリップの個体差を考慮し、異なるチューリップを用いて同様の実験を複数回行う
5 (2)	【5 (1) の実験から得られる結果を整理する表】 a：行に花瓶A、Bを、列に観察結果を記入できる表の作成 b：チューリップを複数用意し、観察記録を複数回記入できる表の作成

4 結果

4. 1 各設問の平均値および標準偏差

表5に、各設問の平均値および標準偏差、最小値、最大値を示す。表中の得点率とは、平均値を各設問の満点で割った値である。なお、設問1と2については、記述数に応じて得点化した（満点が設定されていない）ため、得点率の算出はできない。設問1の「独立変数設定力」は平均値2.715、標準偏差1.333、最小値0、最大値8であった。設問2の「従属変数設定力」は平均値3.077、標準偏差1.415、最小値1、最大値7であった。設問3(1)の「②仮説設定力」は平均値1.528（得点率50.9%）、標準偏差.926、最小値0、最大値3であった。設問3(2)の「③実験方法立案力」は平均値1.272（得点率31.8%）、標準偏差.898、最小値0、最大値4であった。設問3(3)の「④結果処理力」は平均値.817（得点率40.9%）、標準偏差.574、最小値0、最大値2であった。設問4の「③実験方法立案力」は平均値.387（得点率19.4%）、標準偏差.750、最小値0、最大値2であった。設問5(1)の「③実験方法立案力」は平均値1.634（得点率54.5%）、標準偏差.769、最小値0、最大値3であった。設問5(2)の「④結果処理力」は平均値.843（得点率42.2%）、標準偏差.439、最小値0、最大値2であった。

4. 2 4要素の平均値および標準偏差

表6に、4要素の平均値および標準偏差、最小値、最大値を示す。「①変数設定力」は平均値5.791、標準偏差2.378、最小値1、最大値14であった。「②仮説設定力」は平均値1.528（得点率50.9%）、標準偏差.926、最小値0、最大値3であった。「③実験方法立案力」は平均値2.906（得点率29.1%）、標準偏差1.264、最小値0、最大値7であった。「④結果処理力」は平均値1.660（得点率41.5%）、標準偏差.730、最小値0、最大値4であった。表中の得点率とは、平均値を各要素の満点で割った値である。なお、「①変数設定力」については、上述した4.1と同様、記述

数に応じて得点化したため、得点率を算出していない。

4. 3 4要素の相関関係

相関分析の結果、4つの因子間で有意な正の相関が認められた(表7)。特に、「③実験方法立案力」と「④結果処理力」($r = .526, p < .01$)に最も強い正の相関が示された。また、「①変数設定力」と「②仮説設定力」($r = .359, p < .01$)、「②仮説設定力」と「③実験方法立案力」($r = .199, p < .01$)、「②仮説設定力」と「④結果処理力」($r = .191, p < .01$)にそれぞれ弱い正の相関が示された。

4. 4 4要素で説明する因果モデルの検証

図1に示した仮説モデルに基づき、問題解決能力を構成する4要素(「①変数設定力」、「②仮説設定力」、「③実験方法立案力」、「④結果処理力」)で説明する因果モデルを作成し、パス解析を行った(図2)。本因果モデルの適合度を検討したところ、 $\chi^2 = 4.328, df = 3, p = .228$ 、適合度指標(GFI) = .991、修正適合度指標(AGFI) = .970、比較適合度指数(CFI) = .989、平均二乗誤差平方根(RMSEA) = .043であり、妥当な適合度が得られた(表8)。併せて、本因果モデルから次の3つの示唆が得られた。第1に、「①変数設定力」と「②仮説設定力」(.36)は共変動の関係にあり、本因果モデルの初発の段階に位置している。第2に、「①変数設定力」と共変動の関係にある「②仮説設定力」は、「③実験方法立案力」(.20)に直接的な影響を及ぼしている。第3に、「③実験方法立案力」は、「④結果処理力」(.53)に直接的な影響を及ぼしている。

表5 各設問の平均値および標準偏差 (n=235)

設問	平均値 (得点率)	標準偏差	最小値	最大値
1	2.715 (-)	1.333	0	8
2	3.077 (-)	1.415	1	7
3 (1)	1.528 (50.9)	.926	0	3
3 (2)	1.272 (31.8)	.898	0	4
3 (3)	.817 (40.9)	.574	0	2
4	.387 (19.4)	.750	0	2
5 (1)	1.634 (54.5)	.769	0	3
5 (2)	.843 (42.2)	.439	0	2

表6 4要素の平均値および標準偏差 (n=235)

要素	平均値 (得点率)	標準偏差	最小値	最大値
①変数	5.791 (-)	2.378	1	14
②仮説	1.528 (50.9)	.926	0	3
③実験	2.906 (29.1)	1.264	0	7
④結果	1.660 (41.5)	.730	0	4

表7 4要素の相関 (Pearsonの積率相関係数)

要素	①変数	②仮説	③実験	④結果
①変数	-	.359**	.032	-.012
②仮説		-	.199**	.191**
③実験			-	.526**
④結果				-

** $p < .01$

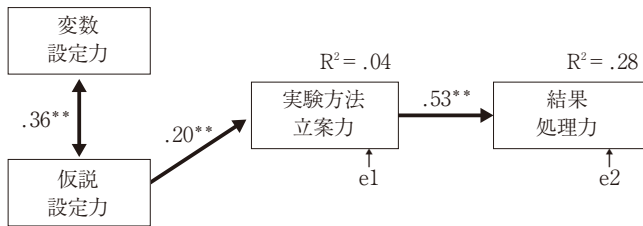


図2 問題解決能力を構成する4要素の因果モデル

注) 矢印に添えた数値は標準化推定値であり、有意確率とともに示している。両方向の矢印は共変(横の数値はPearsonの積率相関係数)を示す。e1~2は誤差変数、 R^2 は決定係数をそれぞれ示す。** $p < .01$

表8 本因果モデルの適合度指標

χ^2 検定			GFI	AGFI	CFI	RMSEA
χ^2	df	p				
4.328	3	.228	.991	.970	.989	.043

5 考察

本研究の目的は、初等教育教員養成課程の大学3年生および免P生を対象に、理科における問題解決能力を構成する諸要素の因果モデルを明らかにするとともに、指導方法の考案に向けた示唆を得ることであった。図2に示した本因果モデルにおいて、「①変数設定力」と「②仮説設定力」は共変動の関係にあり、初発の段階に位置付けられた。これは「自然の事象を因果関係の視点で捉え、何が変化していて、何がその要因になっているのかに気付く。理科の実験は、仮説を立てて行うが、実験で確かめられる仮説は、変化することとその要因を関係付けて、『…すれ

ば、…は、こうなる』等と表現できる作業仮説である。」とする小林（2017）⁽²⁹⁾の知見と一致している。さらに、「実験は、人為的に整えられた条件の下で、装置を用いるなどしながら、自然の事物・現象の存在や変化を捉えることである。自然の事物・現象からいくつかの変数を抽出し、それらを組み合わせ、意図的な操作を加える中で、結果を得ようとする活動である。」とする小学校学習指導要領（平成29年告示）解説理科編（文部科学省，2018）⁽³⁰⁾の考え方とも一致している。また、「①変数設定力」と「②仮説設定力」が共変動の関係にあることから、「②仮説設定力」を育成するためには、問題解決の初発の過程において、変化する自然の事物・現象（従属変数）に影響を及ぼしている諸要因（独立変数）に気付かせることが必要であると言える。加えて、小林（2017）⁽³¹⁾は、「原体験が自然の事象の不思議さを感じさせたり、事象を因果関係で捉えて科学的に問題解決したり探究したりする資質・能力を育成する際の基盤になる。」と述べている。これらのことから、小・中学生よりも発達段階が進んだ学生であっても、自然体験や科学的な体験を充実させることが重要であり、これらの体験を通して得られた知識や概念が、変数の抽出や仮説の設定といった科学的な思考力・表現力の育成に影響を及ぼすと考えられる。

さらに、「②仮説設定力」が「③実験方法立案力」に、「③実験方法立案力」が「④結果処理力」にそれぞれ直接的影響を及ぼすという本因果モデルは、理科授業における「見通しをもって観察、実験を行うこと」の必要性を示唆するとともに、小学校学習指導要領（平成29年告示）解説理科編（文部科学省，2018）⁽³²⁾が掲げる目標とも一致している。しかしながら、「③実験方法立案力」が「④結果処理力」に及ぼす直接的影響と比べて、「②仮説設定力」が「③実験方法立案力」に及ぼすそれは小さいことが示された。また、図1に示した仮説モデルにおいて、「②仮説設定力」が「④結果処理力」に直接的影響を及ぼすことを想定したが、本因果モデル（図2）では、「②仮説設定力」から「④結果処理力」への因果関係は認められなかった。これらのことから、初等教育教員養成課程において、仮説を確かめるための実験計画や方法の発想を促したり、仮説と実験結果が一致した場合に得られるデータの処理方法について意見交換させたりすることが大切であると考えられる。

6 まとめと今後の課題

本研究では、初等教育教員養成課程の大学3年生および免P生を対象とした調査問題の結果に基づき、理科における問題解決能力を構成する諸要素の因果モデルについて検討した。その結果、「①変数設定力」と「②仮説設定力」は共変動の関係にあり、本因果モデルの初発の段階に位置していることが明らかとなった。さらに、「②仮説設定力」が「③実験方法立案力」に、「③実験方法立案力」が「④結果処理力」にそれぞれ直接的影響を及ぼしていることが示された。これらの結果から、理科における問題解決能力を育成するためには、学生自らに仮説を設定させたり、それを検証するための実験計画や方法を立案させたりする指導を行うことの重要性が示唆された。

今後の課題として、以下の3点について検討を加える予定である。第1に、本研究で得られた示唆を基に、学生の理科における問題解決能力を育成するための具体的な指導方法を考案する必要がある。第2に、初等教育教員養成課程の大学3年生および免P生以外の学生を調査対象とするなど、より大規模な追試を行ったり、性別に着目して分析したりすることで、本研究で導出された因果モデルの妥当性について吟味する必要がある。第3に、各要素を評価するための設問数とその得点化について、2問以上の設問を基に得点化した要素と、1問のみで得点化した要素が混在していることから、調査問題とその評価基準に関する妥当性を担保するための詳細な検討を加える必要がある。

注釈

- 1 本研究では、初等教育教員養成課程に在籍する大学3年生および教育職員免許取得プログラム受講の大学院生を調査の対象とした。いずれも新潟県内の国立大学法人A大学において、平成30年度前期に開講された初等理科指導法の受講生であり、後者には、現職教員が含まれていないことから、両者を区別することなく調査の対象とした。

付記

本稿は、日本科学教育学会第42回年会（2018）にて口頭発表した内容を大幅に加筆・修正したものである。

引用文献

- (1) 国立教育政策研究所（2012a）「平成24年度学習指導要領実施状況調査教科別分析と改善点（小学校理科）」p.14, Retrieved from https://www.nier.go.jp/kaihatsu/shido_h24/01h24_25/04h24bunseki_rika.pdf 【最終アクセス：2019年3月12日】

- (2) 国立教育政策研究所 (2012b) 「平成24年度全国学力・学習状況調査【小学校】報告書」 p.18, Retrieved from https://www.nier.go.jp/12chousakekkahoukoku/03shou-gaiyou/24_shou_houkokusyo-2_kyoukanikansuru.pdf 【最終アクセス：2019年3月12日】
- (3) 国立教育政策研究所 (2015a) 「平成27年度全国学力・学習状況調査報告書【小学校】理科」 p.8, Retrieved from http://www.nier.go.jp/15chousakekkahoukoku/report/data/psci_02.pdf 【最終アクセス：2019年3月12日】
- (4) 入江薫 (2007) 「小学校新規採用教員の科学的探究能力育成を目的とした研修プログラムの開発」『上越教育大学大学院修士論文』 pp.1-5.
- (5) 入江薫・尾竹良一・小林辰至 (2008) 「小学校新規採用教員の理科指導に関する実態－理科の有用観・探究的態度・理科指導の自信等の観点から－」『理科教育学研究』48(3), pp.13-23.
- (6) 小林辰至・永益泰彦 (2006) 「社会的ニーズとしての科学的素養のある小学校教員養成のための課題と展望－小学校教員指導学生の子どもの頃の理科学習に関する実態に基づく仮説設定のための指導法の開発と評価－」『科学教育研究』30(3), pp.185-193.
- (7) 川崎弘作・角屋重樹・木下博義・石井雅幸・後藤顕一 (2015) 「初等教員養成課程学生の理科における問題解決能力の実態に関する研究－小学5, 6年生・大学1年生の比較を通して－」『理科教育学研究』56(2), pp.151-159.
- (8) 佐藤綾・栗原淳一 (2017) 「データセットを用いた仮説検証型学習を通じた問題解決能力の育成－初等教員養成における生物分野での実践事例の検討－」『理科教育学研究』58(2), pp.135-146.
- (9) 文部科学省 (2018) 『小学校学習指導要領 (平成29年告示) 解説理科編』 pp.17-18.
- (10) 前掲 (7)
- (11) 前掲 (8)
- (12) 前掲 (7)
- (13) 前掲 (8)
- (14) 前掲 (8)
- (15) 前掲 (7)
- (16) 前掲 (7)
- (17) 前掲 (8)
- (18) 前掲 (7)
- (19) 前掲 (8)
- (20) 斎藤紗織 (2016) 「因果関係の見方・考え方を働かせて問題解決する理科指導法の実践的研究－小学校3年生理科における仮説設定の指導法とその効果－」『上越教育大学大学院修士論文』 pp.12-13.
- (21) 前掲 (20)
- (22) 国立教育政策研究所 (2015b) 「平成27年度全国学力・学習状況調査問題 (中学校理科)」 pp.19-24, Retrieved from http://www.nier.go.jp/15chousa/pdf/15mondai_chuu_rika.pdf 【最終アクセス：2019年3月12日】
- (23) 前掲 (22)
- (24) 国立教育政策研究所 (2012c) 「平成24年度全国学力・学習状況調査問題 (中学校理科)」 p.3, Retrieved from http://www.nier.go.jp/12chousa/12mondai_chuu_rika.pdf 【最終アクセス：2019年3月12日】
- (25) 前掲 (7)
- (26) 前掲 (7)
- (27) 前掲 (20)
- (28) 前掲 (7)
- (29) 小林辰至 (2017) 「探究する資質・能力を育む理科教育」『大学教育出版』 pp.15-26.
- (30) 前掲 (9) p.15.
- (31) 前掲 (29)
- (32) 前掲 (9) pp.14-15.

The Causal Model of Factors Constituting Problem-Solving Abilities : Focus on the University Students in the Elementary School Teacher-Training Course

Takayuki YAMADA* · Jun-ichi KURIHARA**

ABSTRACT

The purpose of this study is to clarify the causal model of factors constituting problem-solving abilities in the science based on the results of the questionnaire for the university students in the elementary school teacher-training course.

As a result, it was clear that “①variable setting ability” and “②hypothesis setting ability” are in a covariant relationship and are located at the initial stage of this causal model. Furthermore, it became clear that “②hypothesis setting ability” had a direct effect on “③experimental method planning ability” and “③experimental method planning ability” on “④expected ability to set results”.

From these results, in order to foster the problem-solving abilities in science of university students in the elementary school teacher-training course, it was important to instruct students to set up hypotheses themselves and instruct them to design experiment plans and methods to verify them.